

**12. Tagung „Zahnriemengetriebe“
am Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design
der TU Dresden**

**Dr.-Ing. Jens Sumpf (Technische Universität Chemnitz)
Prof. Dr.-Ing. Klaus Nendel (Technische Universität Chemnitz)**

„Übertragungsverhalten von ringgespannten Zahnriemengetrieben“

1. Einleitung
2. Grundlegende Funktionsweise
3. Allgemeines Betriebsverhalten
4. Übertragungsverhalten
5. Zusammenfassung

1. Einleitung

Zahnriemen sind seit vielen Jahren ein fester Bestandteil der Antriebstechnik im Maschinen- und Fahrzeugbau. Durch die Einbeziehung immer neuer Riemenwerkstoffe und -profile sind Zahnriemengetriebe bei großer Verschleißfestigkeit, geringer Geräuschemission und hohem Wirkungsgrad in der Lage, relativ hohe Drehmomente und Drehzahlen winkelsynchron zu übertragen, wodurch sich die Einsatzgebiete der Zahnriemen ständig erweitern.

Zur Gewährleistung der Funktionalität sind die Zahnriemen mit einer bestimmten Vorspannung zu beaufschlagen. Durch die genaue Einstellung und vor allem Einhaltung der Vorspannkraft während des Betriebes lassen sich beispielsweise das Risiko des Überspringens der Zähne an den Zahnscheiben, die Entstehung von Trumschwingungen sowie der Verschleiß erheblich reduzieren und somit die Betriebssicherheit und die Lebensdauer der Zahnriemengetriebe positiv beeinflussen.

Die Einstellung der Vorspannkraft wird in der Praxis im Wesentlichen über

1. eine Korrektur des Achsabstandes der Zahnscheiben (d. h. über die Dehnung des Zahnriemens) oder
2. eine ständig wirkende Spannkraft (z. B. Federn, Hydraulik / Pneumatik oder Masse)

realisiert, wobei die Wahl der Methode von den Einbau- und Belastungsbedingungen abhängt. In einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) sowie der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e.V. (AiF) unterstützten und gemeinsam von der Ebert Kettenspanntechnik GmbH Schkeuditz und der Technischen Universität Chemnitz, Professur Fördertechnik bearbeiteten Forschungsprojekt wurde eine weitere Spannmethode für Zahnriemengetriebe entwickelt.

Es handelt sich dabei um einen elastischen Ring, der platzsparend zwischen den Riementrumen angeordnet wird. Die durch die Ringgeometrie und das Kunststoffmaterial beeinflussbare Spannkraft wird dabei sicher und zielgerichtet auf beide Trume übertragen.

Das von der Ebert Kettenspanntechnik GmbH unter dem Markennamen „ROLL-RING“® (www.roll-ring.com) angebotene Spann- und Dämpfungselement funktioniert drehrichtungsunabhängig, ist einfach und schnell zu montieren und problemlos austausch- oder nachrüstbar.

2. Grundlegende Funktionsweise

Das Spann- und Dämpfungselement besteht im Prinzip aus 2 elastischen Ringen, die durch an Zahnteilung und -profil angepasste, lamellenförmige Zahnstege miteinander verbunden sind. Dieses Element wird zwischen den Trumen des Getriebes positioniert, wobei die spezielle Geometrie eine Lagefixierung sowohl in seitlicher Richtung als auch bezüglich der Position zwischen den Scheiben garantiert.

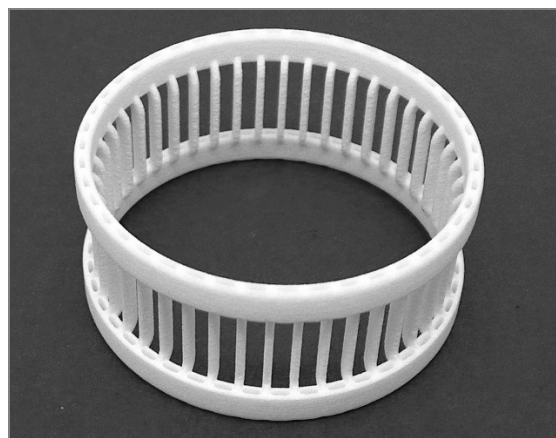


Bild 1: ROLL-RING® Spann- und Dämpfungselement für Zahnriemengetriebe

Im Einbauzustand ohne die Übertragung eines Drehmomentes liegt eine geometrische und kräftemäßige Symmetrie zwischen oberer und unterer Hälfte des Getriebes vor, d. h. der Mittelpunkt des nunmehr ellipsenähnlich verformten Rings liegt genau auf der Verbindungslinie der Scheibenmittelpunkte.

Wird dagegen ein Drehmoment übertragen, ändern sich die Kräfte in den Trumen und der Ringmittelpunkt verschiebt sich in Richtung des weniger belasteten Trums (Leertrum). Gleichzeitig ändert sich dadurch auch der Abstand zwischen den Trumen, sodass sich die Verformung des Rings ändert und dieser eine andere Kraft auf beide Trume überträgt, was wiederum eine erneute Lageänderung des Ringmittelpunktes bewirkt. Letztlich bildet sich ein Kräftegleichgewicht aus, welches die genaue Position und Verformung des Rings sowie die Kräfte in den Trumen definiert.

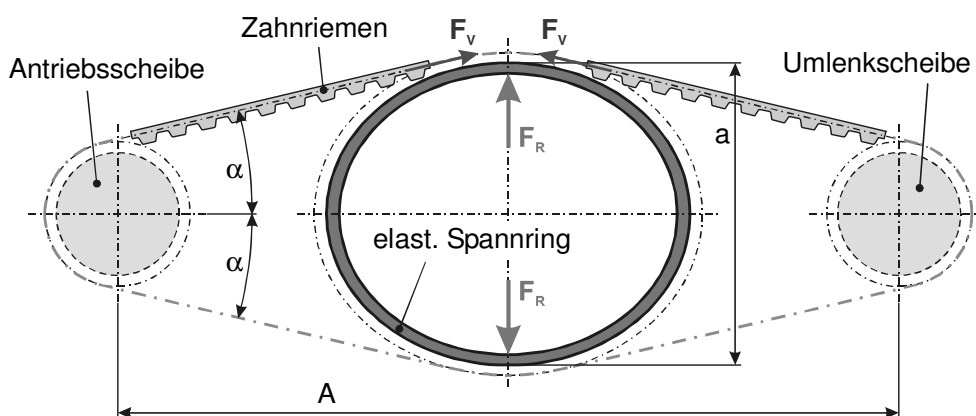


Bild 2: Getriebe im Ruhezustand (Einbauzustand) ohne Drehmomentübertragung

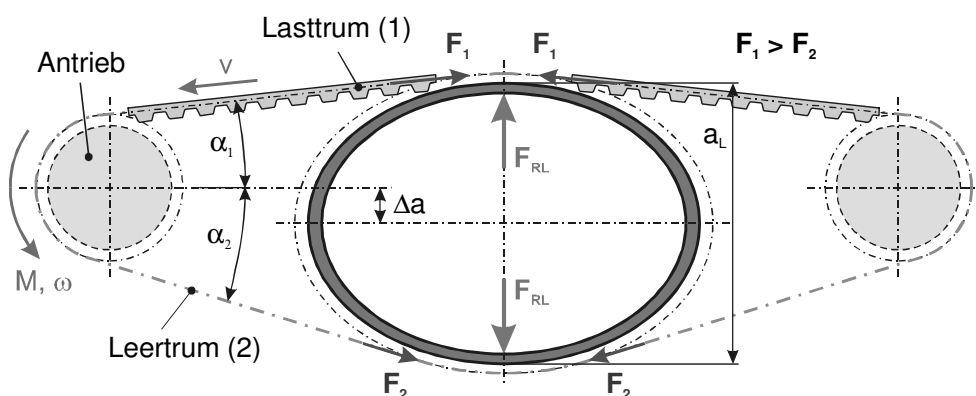


Bild 3: Getriebe im Lastzustand bei Übertragung eines Drehmomentes ($a_L < a$)

3. Allgemeines Betriebsverhalten

Nach dem Start wechselt das Zahnriemengetriebe entsprechend Bild 1 und Bild 2 vom Ruhezustand in den Lastzustand. Der ROLL-RING® behält dabei durch die „Verzahnung“ sowie die Seitenführung seine Position zwischen den Scheiben bei und bewegt sich lediglich in Richtung des Leertrums. Der Wechsel zwischen beiden Zuständen dauert, in Abhängigkeit von der Motorkennlinie, eine bestimmte Zeit. Anschließend bleibt der Lastzustand unter der Voraussetzung eines gleichmäßigen Abtriebsmomentes nahezu konstant.

In zahlreichen experimentellen Untersuchungen unter verschiedensten Bedingungen sowie im Praxiseinsatz konnte prinzipiell ein sehr ruhiges und verschleißfreies Laufverhalten der Ringe nachgewiesen werden.

Besonders hervorzuheben ist das ursprünglich als kritisch eingeschätzte Erwärmungsverhalten auf Grund der starken Biegewechselbeanspruchung der Spannringe. Hier zeigte sich in den Untersuchungen, dass die durch innere Reibung sowie Reibung bei Eingriff der Riemenzähne

in die Lamellen erzeugte Wärme u. a. durch die in den Ringen angebrachten Lüftungsdurchbrüche sehr gut an die Umgebung abgegeben werden kann. Zusätzlich sorgt die spezielle Lamellengeometrie für eine „Ventilatorwirkung“, die in erheblichem Maße zur Wärmeabführung und sogar zu einer deutlich messbaren Kühlung des Zahnriemens beiträgt. So wurde in Messungen festgestellt, dass die Oberflächentemperatur der Ringe nahezu unabhängig von der Drehzahl ist und bis zu 60% unterhalb der Zahnriemenenerwärmung liegt. Auch bei den maximal zulässigen Ringstauchungen von 5% und Ringdrehzahlen von ca. 1500 U/min wurden in den Tests Ringtemperaturen von 30°C nicht überschritten.

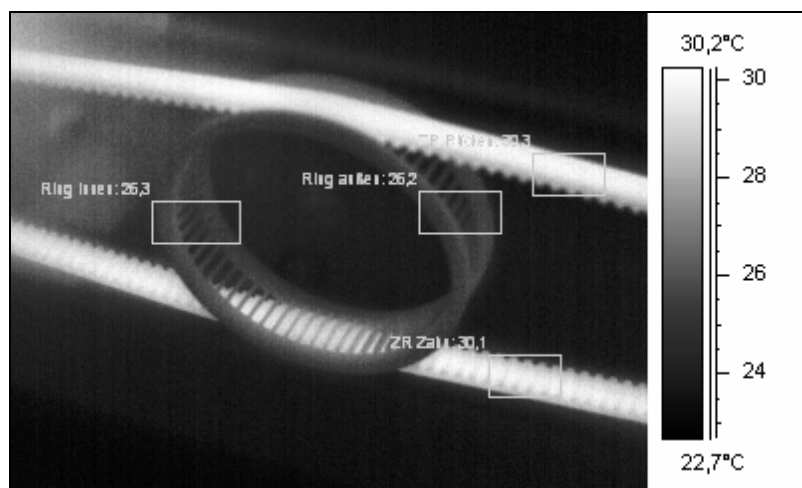


Bild 4: Typisches Erwärmungsbild des ROLL-RING® bei Dauerbelastung im Zahnriemengetriebe

Ein besonderer Vorzug des ringförmigen Spannelementes ist das Spannkraftverhalten. Da sich bei steigendem Drehmoment der Abstand zwischen den Trumen durch die vertikale Verschiebung des Ringmittelpunktes aus geometrischen Gründen verringert, wird die Spannkraft des Rings entsprechend erhöht. Dieser Effekt lässt sich positiv ausnutzen, indem der Ringdurchmesser, der Achsabstand der Scheiben bzw. die Position des Rings zwischen den Scheiben so angepasst wird, dass der Ring im Einbauzustand eine nahezu kreisrunde Form behält und somit (fast) keine Kräfte in das ruhende Getriebe einbringt. Erst bei der Momentübertragung wird der Ring gestaucht und überträgt die erforderliche Vorspannkraft auf die Riementrumen. Bei geschickter Dimensionierung kann somit eine äußerst getriebebeschonende Vorspannung mit einer automatisch auf das gerade anliegende Drehmoment abgestimmten Spannkraft erfolgen (Bild 5).

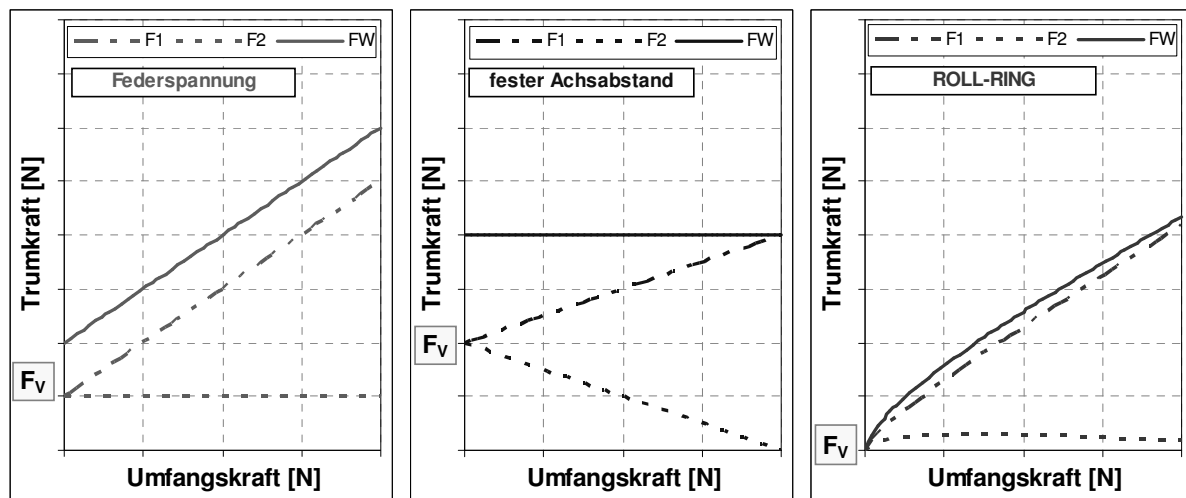


Bild 5: Spannkraftverhalten des ROLL-RING® im Vergleich zu alternativen Spannmethoden (F_1 , F_2 : Zugkraft im Last- bzw. Leertrum, F_W : Wellenkraft)

4. Übertragungsverhalten

Eine für den Anwender wichtige Frage ist das Übertragungsverhalten eines ringgespannten Zahnriemengetriebes, insbesondere die möglichst drehzahlsynchrone und verlustfreie Drehmomentübertragung.

Aus den Getriebedarstellungen in Bild 2 bzw. Bild 3 wird deutlich, dass das Moment nicht wie bei den alternativen Spannmethoden über ein gestrecktes Lasttrum direkt von der Antriebs- auf die Abtriebsscheibe übertragen wird. Systembedingt wird das Lasttrum bei den ringgespannten Getrieben immer (leicht) ausgelenkt, wobei der Auslenkwinkel drehmomentabhängig ist. Dadurch kommt es neben den auch von alternativen Getrieben bekannten Ursachen wie z. B. Riemendehnung oder Zahnverformung zu einem zusätzlichen Betrag der Drehwinkelabweichung zwischen beiden Scheiben. Während diese Differenz für die meisten Anwendungen absolut unerheblich ist, muss der Effekt einerseits bei hohen Anforderungen an die Drehwinkel- bzw. Drehzahlsynchronität (z. B. Steuerriemen) und andererseits bei der Übertragung von ungleichmäßigen Drehmomenten berücksichtigt werden. Die Drehwinkeldifferenz kann maßgeblich durch die Auswahl der Spannringgröße beeinflusst werden. Je geringer der Unterschied zwischen dem Trumabstand (bei 1:1-Übersetzung der Zahnscheibendurchmesser) und dem Ringdurchmesser ist, desto exakter arbeitet das Getriebe. Bild 6 zeigt neben diesem Effekt auch, dass der Betrag der Winkeldifferenz sehr gering

gehalten werden kann. An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass auch mit herkömmlich gespannten Getrieben keine absolute Synchronität erreichbar ist.

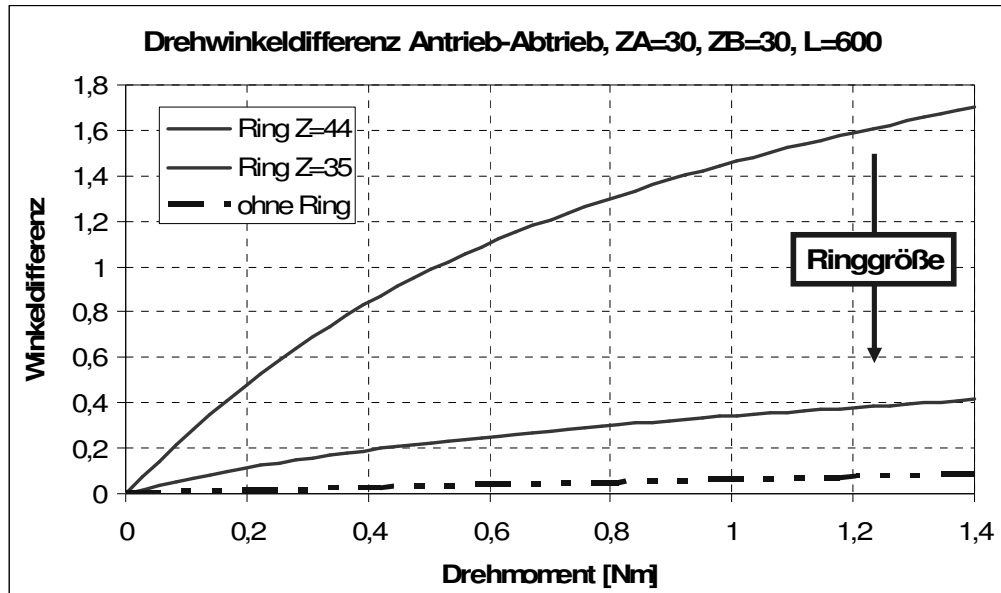


Bild 6: Durch Riemendehnung und Spannringeinsatz hervorgerufene Drehwinkeldifferenz zwischen An- und Abtrieb beim Anfahren des Getriebes (Zähnezahl An- / Abtrieb: $Z_A=Z_B=30$, Riemenlänge: $L=600$ mm)

Die beim Anfahren des Getriebes beschriebene Drehwinkeldifferenz tritt in ähnlicher Form auch dann auf, wenn kein konstantes Drehmoment übertragen wird. Dieser Fall liegt bei genauer Betrachtung in jedem Zahnriemengetriebe vor und wird einerseits durch den Polygoneffekt beim Zahneingriff in die Scheiben und andererseits sehr häufig durch eine geringe Unrundheit bzw. Unkonzentrität der Zahnscheiben verursacht. In vielen Anwendungen ist jedoch auch das Abtriebsmoment selbst sehr ungleichmäßig (z. B. Schubkurbelantrieb) oder es treten während des Betriebes relativ starke Momentsprünge auf (z. B. Shredderantrieb).

Hierbei zeigt sich ein weiterer Vorteil der ringgespannten Getriebe. Das Moment wird nicht über den relativ steifen Zahnriemen direkt von der Abtriebs- auf die Antriebswelle übertragen, sondern, bedingt durch die Trumauslenkung, durch den ROLL-RING® abgefedert, was vor allem bei starken Momentstößen maßgeblich zur Getriebeschonung beiträgt. Die in Bild 8 gezeigten Messungen bestätigen, dass z. B. das Antriebsmoment eines Schubkurbelantriebs durch die Verwendung eines Spannringes wesentlich vergleichmäßigt werden kann. Ähnliches gilt für „normale“ Antriebe, bei denen der ROLL-RING® für eine wirksame Dämpfung von Trumstößen sorgt (Bild 9).

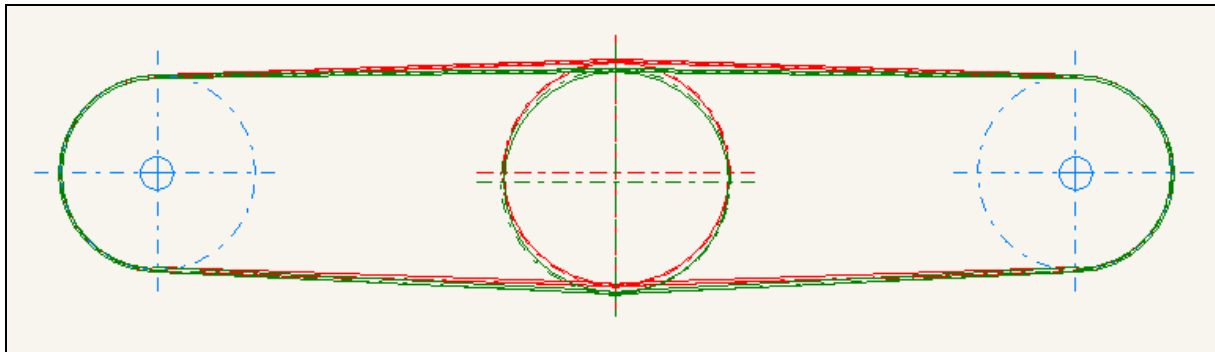


Bild 7: Im Einbau- (rot) und Lastzustand (grün) dargestelltes Beispielgetriebe (Zähnezahl An- / Abtrieb / Ring: $Z_A=Z_B=30$, $Z_R=35$, Riemenlänge: $L=600$ mm, Moment: $M_A=1,4$ Nm, Winkeldifferenz: $\Delta\gamma=0,4^\circ$)

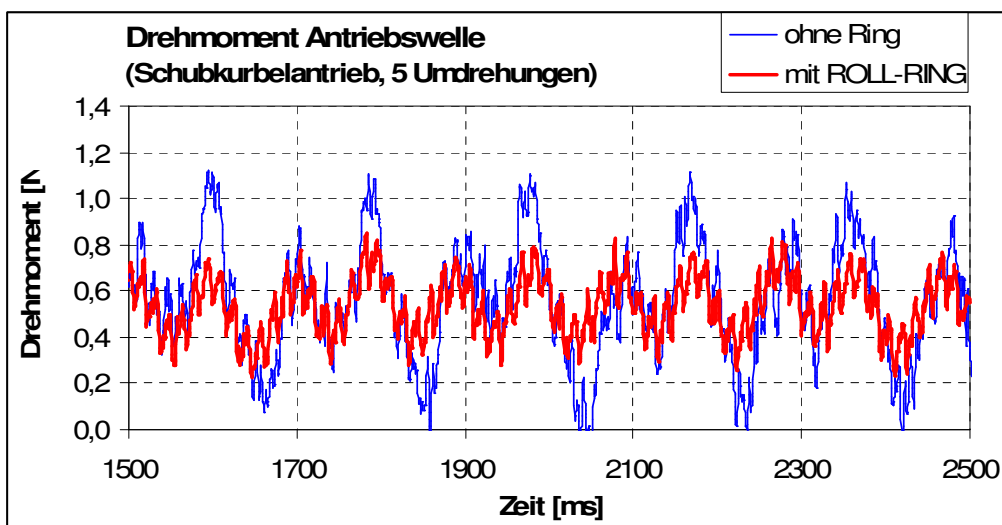


Bild 8: Antriebsmoment bei gezielt durch eine Schubkurbel hervorgerufenen Momentschwankungen (blau: Spannung über festen Achsabstand, rot: Spannung mit ROLL-RING®)

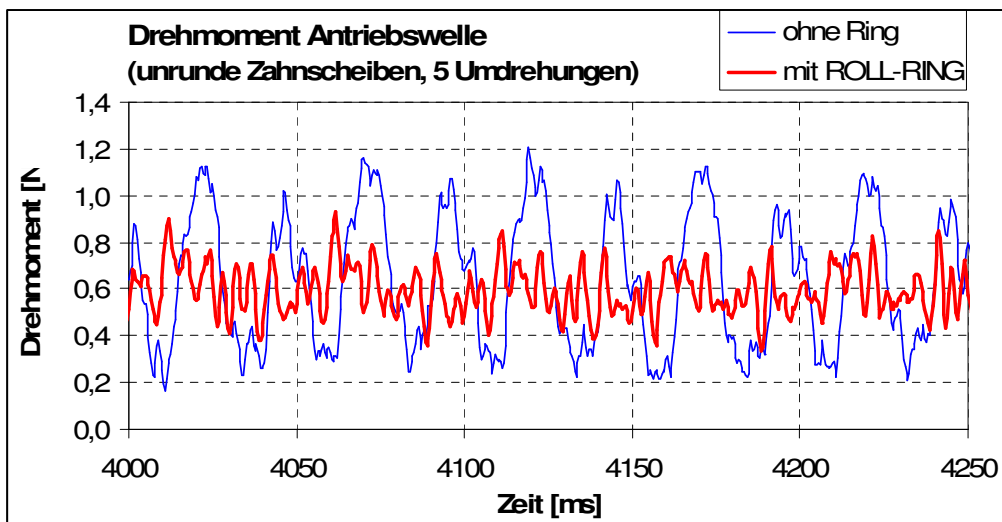


Bild 9: Antriebsmoment bei durch unrunde bzw. unkonzentrische Zahnscheiben hervorgerufenen Momentschwankungen (blau: Spannung über festen Achsabstand, rot: Spannung mit ROLL-RING®)

5. Zusammenfassung

Mit dem ROLL-RING® steht dem Anwender ein neues Spann- und Dämpfungselement für Zahnriemengetriebe zur Verfügung. Die Anordnung zwischen den Trumen garantiert eine einfache Handhabung vor allem bei platzproblematischen Getrieben. Der ROLL-RING® ist somit sowohl für Erstausrüster als auch für Nachrüstungen interessant, bei denen keine geometrischen Änderungen mehr vorgenommen werden können und / oder keine Montagebasis für alternative Spanner vorhanden ist.

Besonders hervorzuheben ist das charakteristische, getriebeschonende Spannkraftverhalten. Der Ring wird bzgl. des Durchmessers so ausgelegt bzw. so zwischen den Zahnscheiben angeordnet, dass die Spannkraft im Ruhezustand sehr gering ist. Erst unter Last wird die erforderliche Spannung „aktiviert“, sodass der ROLL-RING® den Zahnriemen über einen sehr breiten Momentbereich minimal aber immer funktionssicher spannt.

Geometrisch bedingt treten zwischen An- und Abtrieb leichte Drehwinkel- bzw. Drehzahldifferenzen auf, die aber für die meisten Anwendungen uninteressant sind. Bei besonderen Anforderungen an die Übertragungsgenauigkeit oder stark wechselnden Momenten muss der Ring möglichst klein sein, um die Drehwinkelschwankungen zu minimieren. Gerade bei ungleichmäßigen Momenten oder Momentstößen trägt jedoch der ROLL-RING® sehr effektiv zur Dämpfung dieser Belastungen bei. Der Dämpfungseffekt ist auch in „normalen“ Zahnriemengetrieben nachweisbar, sodass die Schwingungen im Getriebe nachweislich reduziert werden können.

Das ROLL-RING® Spann- und Dämpfungselement für Zahnriemengetriebe hat sich mittlerweile in vielen industriellen Anwendungen bewährt. Als Referenzen können namhafte nationale und internationale Firmen genannt werden, u. a. Thyssen Krupp, Robert Bosch GmbH, HOMAG, Segler Förderanlagen oder National Oilwell Varco (Norwegen). Dort werden die Spannringe z. B. in der Förder- und Handhabungstechnik, Sägen oder anderen Antrieben verwendet, bei denen enger Bauraum, Reversierbetrieb und / oder Stoß- und Schwingungsdämpfung als Anforderungen stehen.